



Universidade Federal do Rio de Janeiro

Renato Mota Xavier de Meneses

**LEVANTAMENTO POR ELETORRESISTIVIDADE NA BACIA DE SÃO JOSÉ DE
ITABORAÍ – RIO DE JANEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso
(Bacharelado em Geologia)

UFRJ
Rio de Janeiro
2009



Renato Mota Xavier de Meneses

**LEVANTAMENTO POR ELETRORRESISTIVIDADE NA BACIA DE SÃO JOSÉ DE
ITABORAÍ – RIO DE JANEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientadora:

Dr^a Paula Lucia Ferrucio Rocha

Renato,M.Xavier de Meneses
LEVANTAMENTO POR ELETRORRESISTIVIDADE NA BACIA DE
SÃO JOSÉ DE ITABORAÍ – RIO DE JANEIRO

: Renato M. Xavier de Meneses - - Rio de Janeiro: UFRJ /
IGeo, 2009. p.36 : il.; 30cm

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado
em Geologia) – Universidade Federal do Rio de
Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento
de Geologia 2009

Orientadora:Paula Lucia Ferrucio da Rocha,
1. Geologia. 2. IGEO – Trabalho de Conclusão de Curso. I.
Paula Lucia Ferrucio Rocha da UFRJ. II. Universidade Federal do
Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, graduação em Geologia.
III. Título.

Renato Mota Xavier de Meneses

**LEVANTAMENTO POR ELETORRESISTIVIDADE NA BACIA DE SÃO JOSÉ DE
ITABORAÍ – RIO DE JANEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador(a):

Paula Lucia Ferrucio Rocha

Aprovada em: 15/07/2009

Por:

Orientador: Profª Drª Paula Ferrucio Rocha (UFRJ)

Prof Dr José Mario Coelho (UFRJ)

Roberto Hermann Plastino (Ms)

UFRJ
Rio de Janeiro
2009

Dedico este trabalho aos amigos, funcionários e mestres que souberam compartilhar, auxiliar e compreender os momentos de dúvidas, alegria e tristeza durante esta jornada.

Agradecimentos

Agradeço mais uma vez a todos que me ajudaram nesta caminhada. Ao amigo Jorge Gabriel do laboratório de petrofísica que sempre esteve pronto para me ajudar. A professora Paula que me orientou e deu a oportunidade de realizar este trabalho. Aos meus familiares: meu pai, minha mãe, e minhas irmãs que, de uma forma ou de outra, me ajudaram com apoio moral e financeiro. Aos motoristas que me levaram ao campo para a coleta de dados e aos amigos Professor Roberto Plastino, Geneci Coelho, João Schuh, Emerson da Silva e José Luna que também me auxiliaram na confecção desta monografia. Finalmente à Dona Dulce e demais funcionários da copa da Decania do CCMN pelo cafezinho de quase todo dia

Resumo

Meneses, Renato Mota Xavier LEVANTAMENTO POR LETRORRESISTIVIDADE NA BACIA DE SÃO JOSÉ ITABORAÍ – RIO DE JANEIRO 2009, 35 p.
Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Este trabalho apresenta um levantamento geofísico usando a ferramenta de eletrorresistividade na borda oeste da Bacia de São José de Itaboraí, localizada no estado do Rio de Janeiro, onde atualmente se encontra o Parque paleontológico de São José do Itaboraí. O levantamento de campo visou a locação de um poço-escola para teste de ferramentas de perfilagem. As locações das sondagens foram orientadas com base em pesquisas bibliográficas. Os dados foram processados e interpretados com um *software* específico denominado de IP2 win, de distribuição gratuita na internet. Com os resultados do processamento foi possível inferir as espessuras das camadas de calcário e a profundidade do embasamento cristalino que era o objetivo desta monografia.

Palavras-chave: Bacia de São José do Itaboraí; perfilagem.

Abstract

**Meneses, Renato Mota Xavier SURVEY BY
ELETRORRESISTIVIDADE IN THE BASIN– RIO DE JANEIRO
2009,35p Completion of work of course (Bachelor of Geology) –
Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade
Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.**

This paper presents a geophysical survey using a tool eletrorresistividade on the edge of the basin west of São José de Itaboraí, located in the state of Rio de Janeiro, where there is the paleontologic park of Itaboraí. The survey sought to a well-test tools for logging. The locations of the surveys were targeted based on bibliographic searches. The data were processed and interpreted with IP2 win software of free distribution on the Internet. With the results of the processing was possible to infer the thickness of the limestone layers of the depth of crystalline basement that was the purpose of this monograph.

Key-Words: basin west of San José de Itaboraí; logging.

LISTA DE FIGURAS	PÁG.
Figura 1a: Mapa índice de localização da área	3
Figura 1b: Foto de satélite da bacia sedimentar de São José do Itaboraí	3
Figura 2: Mapa de distribuição dos quatro riftes do SRCB	6
Figura 3: Mapa geológico da bacia de São José do Itaboraí	9
Figura. 4: Mapa de isópacas da seqüência S1, correspondente às fácies dos calcários travertino	11
Figura 5: Mapa litológico e estrutural da bacia de São José do Itaboraí.	12
Figura 6 - Linhas de corrente e superfícies equipotenciais em subsuperfície num meio com resistividade uniforme.	17
Figura 7 - <i>Configuração do arranjo dos eletrodos</i>	17
Figura 8 - Relação entre a distância de AB e profundidade investigada. Observar que abertura de AB é diretamente proporcional a profundidade investigada	20
Figura 9 - Gráfico gerado com os valores de $AB/2$ e $\rho_a(\Omega m)$	22
Figura 10 - Curva suavizada (em vermelho), tabela mostrando os parâmetros das camadas e modelo de camadas geradas (em azul)	23
Figura 11: Figura mostrando a locação das SEVs com escala aproximada.	24
Figura 12: Foto ilustrando a primeira estação de coleta de dados	25
Figura 13: Foto ilustrando a segunda estação de coleta de dados	26
Figura 14- Equipamento desenvolvido no laboratório de Geofísica do IGEO.	26
Figura 15 a e b - Arranjo de eletrodos para levantamento de campo, segundo o método Schlumberger	27
Figura 16- mostra um exemplo de como foram tratados os dados no Excell®	28
Figura 17 - Apresentação da interpretação dos dados da SEV1.	31
Figura 18 - Apresentação da interpretação dos dados da SEV2.	32

Figura 19 -Apresentação do resultado das SEV 1 e SEV2 através de uma secção que correlaciona Profundidade,distância e resistividade aparente

LISTA DE TABELAS	PÁG.
Tabela 1: Seqüência estratigráfica indicada por Leinz ,1938	11
Tabela 2 : Tabela Lito-estratigráfica representando os principias eventos deposicionais envolvendo a Bacia.	14
Tabela 3 - <i>Cálculo da resistividade aparente a partir dos dados de campo. Observar que a partir dos valores de I e V adquiridos no campo é calculado o valor de ρ (Ωm)</i>	21
Tabela 4 - Coordenadas das SEV's	25
Tabela 5 - Apresentação dos resultados tratados dos dados da SEV1	29
Tabela 6- Apresentação dos dados da SEV2 - omitindo os valores de V(mV) e I(mA).	30

LISTA DE QUADRO	PÁG
Quadro 1: Tabela de classificação das bacias sedimentares brasileiras indicando as correlações das idades geológicas com os estilos tectônicos de cada.	5

Sumário	PÁG
Agradecimentos	vi
Resumo	vii
Abstract	viii
Lista de figuras	ix
Lista de Tabelas	x
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo	2
1.2 Justificativa	2
2 ÁREA DE ESTUDO	3
2.1 localização	3
2.2 Geologia Regional	4
2.2.1 Geologia local	9
2.3 Estratigrafia	12
2.4 Profundidade e espessura de calcário na bacia	14
3 MÉTODO	16
3.1 Levantamento Bibliográfico.....	16
3.1.1 O Método da eletrorresistividade	16
3.1.2 Processamento, inversão e interpretação	20
3.2 Levantamento de campo :reconhecimento da área	23
3.3 Levantamento de campo:investigações geofísicas	24
3.4 Metodologia de tratamento de dados	27
3.4.1 Memória de cálculo de ρ_a	28
4 RESULTADOS	29
4.1 Apresentação e discussão dos dados da SEV 1.....	29
4.2 Apresentação e discussão dos dados da SEV 2.....	30
4.3 Processamento dos dados da SEV1 utilizando o programa ip2win.....	31
4.4 Processamento dos dados da SEV2 utilizando o programa ip2win.....	32
4.5 Apresentação da secção de profundidade por eletro resistividade.....	33
5 CONCLUSÕES	34
Referências bibliográficas	35

1- INTRODUÇÃO

Foi em 1928 que se deu a descoberta da Bacia Sedimentar de São José de Itaboraí, situada no município de Itaboraí, no estado do Rio de Janeiro. Suas dimensões são de 1.400 m por 500 m, totalizando uma área de 0,7 Km² o que a faz conhecida como a menor bacia sedimentar brasileira. Seu importante conteúdo litológico permitiu-lhe o cognome de “bacia *Calcária* de São José do Itaboraí”. Este fato ocorreu a partir da constatação de que o material encontrado na fazenda São José, de propriedade do senhor Ernesto Coube, tratava-se de calcário. Já no início da lavra da bacia, foi descoberto certa quantidade de fóssil e, mais tarde, foi encontrado vestígios da presença do homem primitivo (RODRIGUES-FRANCISCO & SOUZA-CUNHA (1978) e RODRIGUES-FRANCISCO *et. al.* (1985)

O calcário dessa região era explorado pela Companhia Nacional de Cimento Portland – hoje conhecida como cimento Mauá (CNCMP). Ao longo das décadas de 60 e 70, esta bacia foi de grande importância econômica para o Brasil. Atualmente, com o fim da mineração, a área tornou-se o Parque Paleontológico de São José do Itaboraí, que vem sendo objeto de estudo desde quando ainda era explorado pela CNCMP. Ressalta-se a importância paleontológica e a história geológica desta bacia inclusive pelo seu rico conteúdo fossilífero, tanto de fauna como de flora.

1.1-Objetivo

Neste trabalho foi realizado um levantamento geofísico por eletrorresistividade na borda da bacia de São José de Itaboraí, mais precisamente na borda oeste, visando a determinação do topo do embasamento cristalino e conseqüentemente a determinação da espessura do calcário travertino ainda presente. Os resultado servirão para a locação de um poço exploratório a ser usado para teste de ferramentas de perfilagem de poço.

1.2-Justificativa

Dentre os métodos geofísicos optou-se por usar nesta pesquisa o levantamento elétrico - eletrorresistividade - que fornece dados de propriedades físicas das rochas reservatório facilitando a construção de modelos geológicos com mais detalhes. Este método permitiu obter características litológicas que ajudarão na locação do poço e também no entendimento da estrutura geológica da referida bacia. Além disto, pode-se estimar a espessura do calcário ainda restante na área, a profundidade do nível freático e as condições de consolidação da rocha e do embasamento.

2-ÁREA DE ESTUDO

2.1- Localização

A Bacia Calcária de São José do Itaboraí esta localizada a aproximadamente 700 m a leste do Povoado de São José, distrito de Cabuçu, município de Itaboraí (22°44'51" S e 42°51'21" W), Estado do Rio de Janeiro; distando de Niterói aproximadamente 25 Km (figura 1a e 1b).

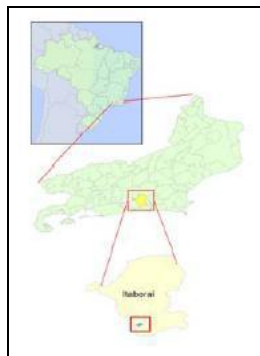


Figura 1a) Mapa índice de localização da área
Fonte:BERGQVIST,et al (2007).



Figura 1b) Foto de satélite da bacia sedimentar de São José do Itaboraí mostrando, em azul os limites atuais do parque paleontológico, localizado no município de Itaboraí-Rio de Janeiro Fonte:BERGQVIST,et al 2007.

A bacia está localizada entre o maciço de Niterói, ao sul e, pela Serra dos Órgãos, ao norte ocupando uma pequena parte do vale de afundamento Campo Grande-Guanabara-Rio Bonito. A bacia é uma depressão elíptica

fechada encravada em rochas do embasamento cristalino e mede 1400 m na direção E-W, eixo maior, e 700 m, no eixo menor, de direção N-S, limitada ao sul pela falha de São José (Brito, 1989).

2.2- Geologia Regional

A história da Bacia de São José remonta aos primórdios da separação das placas tectônicas africana e sul-americana que se deu no final do Jurássico e se intensificou no Cretáceo surgindo em consequência o Oceano Atlântico (aproximadamente 65 milhões de anos). O tectonismo decorrente gerou inúmeras bacias, inclusive as do tipo rifte do vale do Paraíba do Sul e a própria Bacia Sedimentar de São José de Itaboraí (RODRIGUES-FRANCISCO, 1990). A Tabela 1 apresenta a classificação das bacias sedimentares publicada em 2007 por Phoenix (site acessado em julho de 2009).

Quadro 1: Tabela de classificação das bacias sedimentares brasileiras indicando as correlações das idades geológicas com os estilos tectônicos de cada. Em relação à Bacia de Itaboraí, destaca-se a idade Cenozóica e um estilo tectônico Distensional-Rift. Fonte: Phoenix, (2007).

IDADE	BACIA	CLASSIFICAÇÃO	
		KLEMMÉ ⁷	ESTILO TECTÔNICO ^{16,17}
CENOZÓICA	Pantanal	I?	Intracratônica
	Bananal		
	Taubaté	III	Distensional - <i>rift</i>
	Itaboraí		
MESOZÓICA	Acre	II	Intracontinental cratônica da antefossa andina
	Tacutu	III	Distensional - <i>rift</i> abandonado (aulacógeno)
	Marajó		
	Recôncavo		
	Tucano		
	Jatobá		Transtensional - <i>pull apart</i>
	Araripe		
	Foz do Amazonas	VIII	Sinéclise marginal
	Pará-Maranhão	III-V	Distensional - <i>rift</i> evoluindo para bacia <i>pull apart</i>
	Barreirinhas		
	Ceará		
	Potiguar		
	Pernambuco		
	Paraíba		
	Sergipe		
	Alagoas		
	Camamu		
	Almada		
	Jequitinhonha		
	Cumuruxatiba		
	Mucuri		
	Espírito Santo		
	Campos		
	Santos		
	Pelotas		
PALEOZÓICA	Parnaíba	I	Intracratônica (arcos regionais amplos)
	Amazonas		
	Paraná		
	Solimões	I	Intracratônica submetida à orogenia hercíniana
	Alto Tapajós	I?	Intracratônica?
PROTEROZÓICA	Parecis	I?	Intracratônica?
	São Francisco	II?	Intracontinental cratônica da antefossa brasileira

A bacia de São José de Itaboraí está sobre o rift continental do sudeste do Brasil. Na Figura 2 (ZALAN & OLIVEIRA, 2005) há uma seta indicando a localização aproximada da bacia no contexto regional.

O desnível entre a Serra do Mar e a Baixada de Itaboraí, pode atingir mais de 2000 m. A origem desse relevo se deve a movimentos tectônicos iniciados a cerca de 80 milhões de anos que provocaram um amplo soerguimento da borda do continente, desde o Paraná até o Espírito Santo.

Com o aumento da elevação de um lado, houve rompimento e conseqüente rebaixamento dos blocos adjacentes.

As áreas elevadas correspondem a Serra do mar, da Mantiqueira e aos maciços Litorâneos. Já nas áreas rebaixadas formaram-se pequenas bacias sedimentares como é o caso de São José do Itaboraí, cuja idade é de aproximadamente 65 milhões de anos por Phoenix (site acessado em julho de 2009).

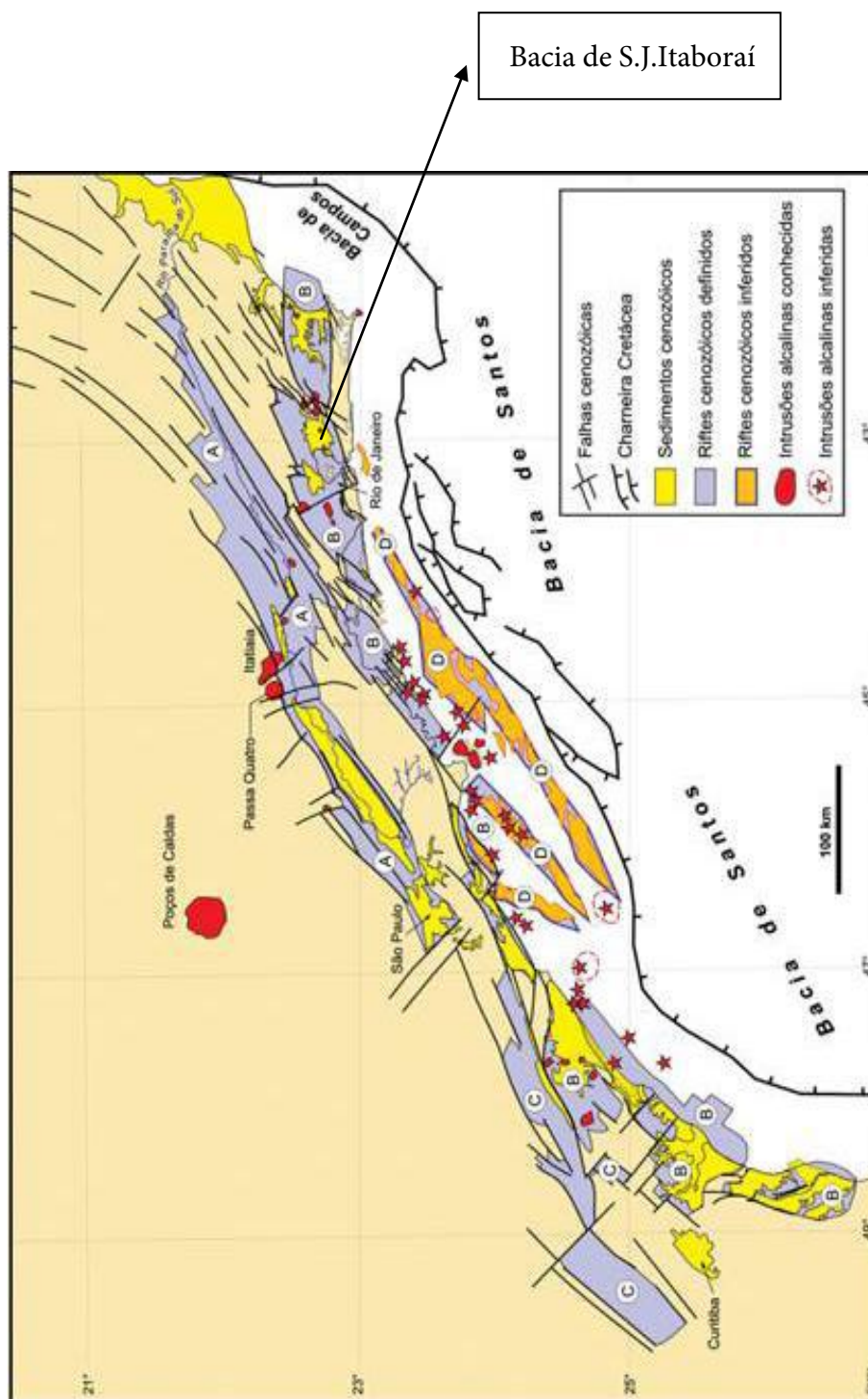


Figura 2-Mapa de distribuição dos quatro riftes do SRCB(Sistema Rift Cenozóico do Sudeste do Brasil).ZALÁN, P.V. & OLIVEIRA, J.A.B. de (2005). A localização aproximada da bacia está indicada pela seta.

A Figura 3 abaixo mostra o Mapa Geológico da área do entorno da bacia de São José de Itaboraí. A área da bacia está no destaque dentro do retângulo em vermelho.

As mais antigas rochas da área estudada pertencem ao chamado Complexo Pré-Cambriano, que constitui o embasamento da Bacia Sedimentar de São José de Itaboraí. Essas rochas são, principalmente, biotita-gnaisses, com intercalações de mármore lenticular, além de magmatitos, granitos e pegmatitos.

As rochas Pré-Cambrianas são cortadas por veios e diques de rochas mais recentes, incluindo os veios de quartzo e pegmatitos, de idade indeterminada, e diques básicos e rochas alcalinas, de idade, possivelmente, mesozóica (RODRIGUES-FRANCISCO, 1978). Esse conjunto localiza-se numa faixa que ocupa a área desde Niterói e São Gonçalo, em direção a Rio Bonito, passando por Cabuçu, onde a Bacia está encaixada.

Ao Sul desta área estão os terrenos atribuídos ao Pré-cambriano Médio a Superior, correlacionados com o grupo Serra dos Órgãos. Ao Norte, na área entre Monjolo, Itaboraí e Itambi, os terrenos são constituídos pelas formações continentais atribuídas ao Cenozóico. A Bacia, propriamente dita, foi preenchida por uma sucessão de depósitos, principalmente carbonáticos, que se sobrepõem aos calcários cristalinos, gnaisses, granitos e pegmatitos localizados na parte mais profunda (BRITO, 1989).

A principal estrutura observada é a falha de São José, que delimita o sul da Bacia. É uma falha normal, bastante evidente em observações de campo. No plano dessa falha já foram observadas pequenas falhas reversas. Brito *et al* (1972) e BRITO (1989) admitem que a Bacia é limitada em seu bordo sul por uma falha aproximadamente vertical e de sentido E-W, e cujo bloco formado pelo embasamento cristalino do bordo sul foi elevado, deixando uma depressão que foi posteriormente preenchida por calcário. O mesmo autor também admite o preenchimento da Bacia por diferentes camadas de calcário com maior espessura ao longo da falha. Falha esta que pode ser observada na figura 3 dentro do retângulo em vermelho.

Mapa Geológico da Região da Bacia de Itaboraí, RJ

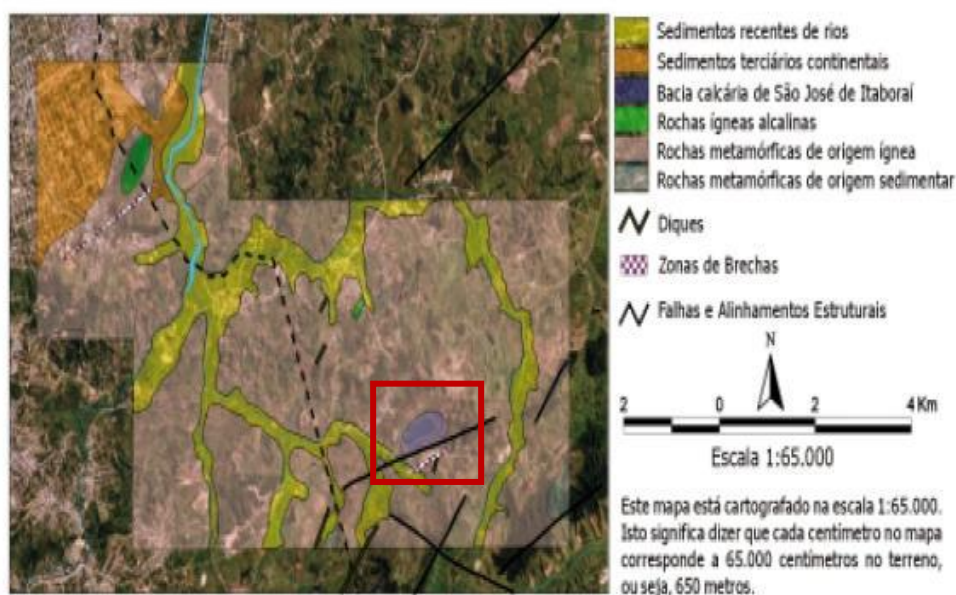


Figura 3: Mapa geológico da bacia de São José do Itaboraí.

Fonte: DRM, 2007

2.2.1 - Geologia Local

Os sedimentos depositados na Bacia incluem clastos, constituídos basicamente de fragmentos de quartzo e feldspato angulosos, além de pedaços de rochas, e em matriz pelítica carbonática, contendo fósseis de gastrópodes pulmonados em abundância. O embasamento cristalino da Bacia é constituído de rochas ígneas e metamórficas, como gnaisses, migmatitos, granitos, pegmatitos e mármore do complexo Pré-Cambriano. As principais rochas desse embasamento são biotita-gnaisses, com intercalações de mármore lenticular, além de migmatitos, granitos e pegmatitos.

O primeiro trabalho sobre a Bacia foi do pioneiro Viktor Leinz (1938). Ele descreveu o calcário travertino (fitado) puro, o calcário cinzento maciço com fósseis de gastrópodes continentais e o sedimento eluvial formado por mistura de lama com seixos arredondados e angulosos. O mesmo admitiu a origem da bacia através da formação de bancos de tufo calcário com crescimento lento de periferia para o centro seguindo de sedimentação lacustre. Vários estudos foram apresentados à medida que a exploração do calcário prosseguia e com isso, novas informações foram surgindo. Medeiros & Bergqvist (1999) reuniram

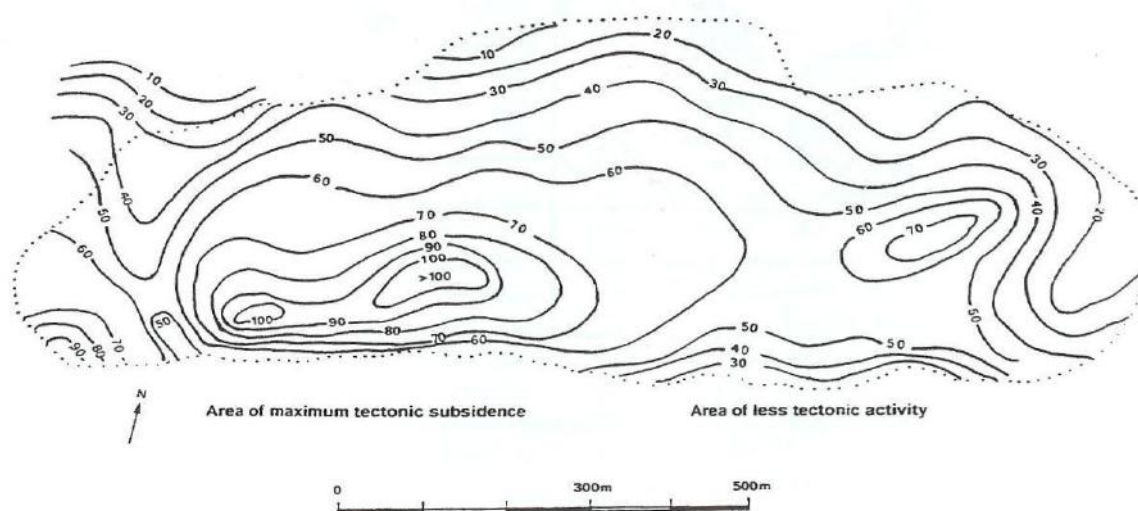
as associações das fácies da Bacia de Itaboraí em três seqüências estratigráficas, que correspondem às três seqüências indicadas por Leinz *em apud* (1938 (BERGQVIST *et al*, 2007).

Em relação aos sedimentos da base, Rodrigues-Francisco (1975) descrevem a mesma como sendo uma seqüência de calcário de origem química (fitado e tufo) intercalados com calcários argilo-arenosos contendo fragmentos de rochas e minerais não-carbonáticos na fração clástica.

O calcário fitado apresenta-se com uma boa estratificação, em lâminas e leitos de cores variadas, predominando a cor branca, com maior espessura na parte central da Bacia. Sobrepostos a estas camadas estão os calcários compactos de coloração cinza a amarelada de granulação fina e homogênea, com minerais detríticos (grãos de quartzo, feldspatos, etc.) espalhados e uma rica fauna de gastrópodos continentais já atribuídos, por diversos autores, ao Mioceno, mas de idade de difícil determinação dentro do Cenozóico, entre o Paleoceno Superior e o Pleistoceno. Rodrigues-Francisco (*op cit*)

Concentrações de pisólitos e oolitos não são raras. Acima desses calcários há uma intercalação dos calcários fitados superiores típicos de precipitação rítmica, um tanto semelhantes aos inferiores, com calcário argiloso friável, típico de enxurrada, com fragmentos grandes e angulosos de quartzo, feldspato e gnaisses. Sobrepostos aos citados leitos estão camadas aluviais com cascalheiras locais com fósseis de vertebrados pleistocênicos.

O mapa de curvas de nível apresentado na figura 4 mostra os contornos da Bacia Calcária antes do início da exploração pela CCPM, dando uma idéia da espessura e profundidade da bacia original.



Mapa de isopaga da sequência S1 (calcário travertino)

Figura. 4: Mapa de isópacos da sequência S1, correspondente às fácies dos calcários travertino e cinza. Nota-se a maior espessura do lado oeste, próximo à falha de São José (indicada na figura 3). Fonte: Medeiros e Bergqvist (1999).

Tabela 1: Sequência estratigráfica indicada por Leinz 1938 in apud (BERGQVIST *et al*, (2007)).

Sequência inferior - (S1)	Mais antiga, carbonática, com predomínio do calcário travertino intercalado com leitos do calcário clástico argiloso cinza, bancos de oolitos e psólitos, além de outros tipos de rochas
Sequência intermediária – (S2)	Constituída de marga e por calciruditos, variando de material fino a grosseiro erodidos da sequência S1, e depositado (S2) nas fissuras criadas pela dissolução ao longo das fraturas
Sequência superior-(S3)	Não contém carbonatos, sendo constituída quase que totalmente por depósitos areno-argilosos

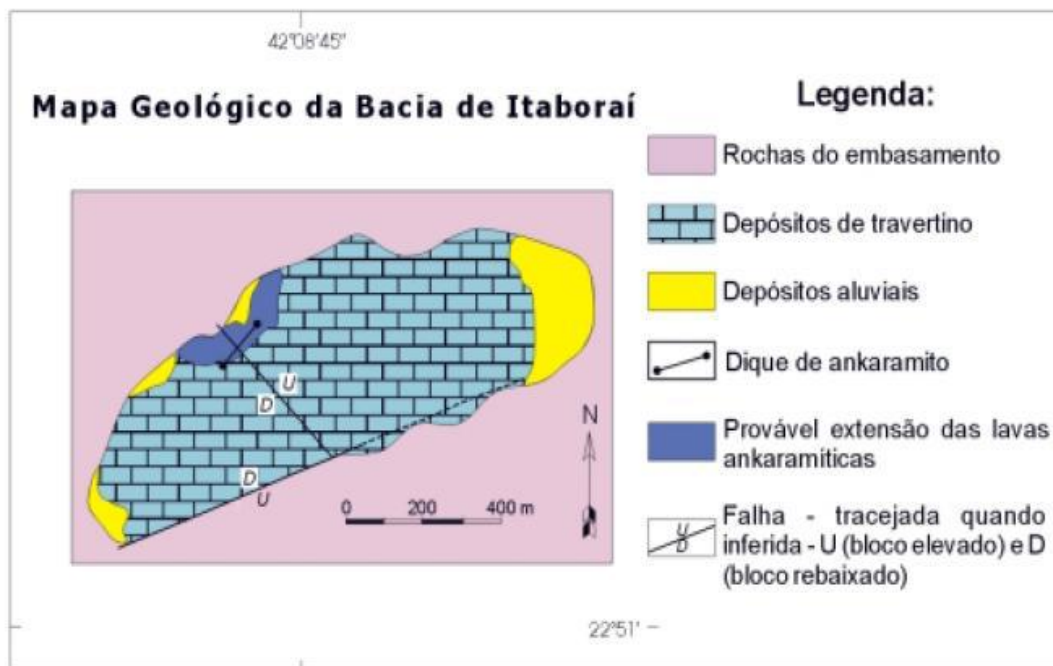


Figura 5: Mapa litológico e estrutural da bacia de São José do Itaboraí, indicando a falha de São José com direção Sw-Ne e uma falha transversal no sentido NW-SE.

Fonte: DRM, 2007

2.3- Estratigrafia

O embasamento ígneo metamórfico constituído basicamente de gnaisses, granitos, pegmatitos, rochas cálcio-silicáticas, mármore, anfibolitos etc. foi atravessado no Cretáceo por ígneas básicas e, mais tarde, também por ígneas alcalinas. O magmatismo alcalino estava, portanto, ainda ativo, quando se deu o início de deposição dos sedimentos na Bacia São José no semi-graben, gerado pela tectônica de falhamento ligada, a assim chamada, reativação Wealdeniana de Fernando Marques de Almeida, aproveitando antigas direções de fraturas pré-existentes desde Neoproterozoico (RODRIGUES-FRANCISCO, 1989).

Os sedimentos depositados no fundo da Bacia incluem clásticos grosseiros, constituídos basicamente de fragmentos de quartzo e feldspatos frescos, angulosos, além de fragmentos de rocha, em matriz pelítica, carbonática, contendo fósseis de gastrópodes pulmonares em abundância. Intercalado aos sedimentos clásticos-carbonáticos ocorrem leitos de calcário fitado puro de origem química (também chamado travertino), praticamente

afossilífero. As camadas pisolíticas e oolíticas ocorrem em diversos níveis, tendo como núcleos minerais com quartzo, feldspato e, esporadicamente, fósseis de gastrópodes (RODRIGUES-FRANCISCO, 1990).

Após a deposição, os sedimentos da seqüência inferior foram submetidos a uma intensa atividade carstíca. Resultaram dessas inúmeras atividades, as cavidades que foram, posteriormente, preenchidas com material clástico, pobre em carbonatos.

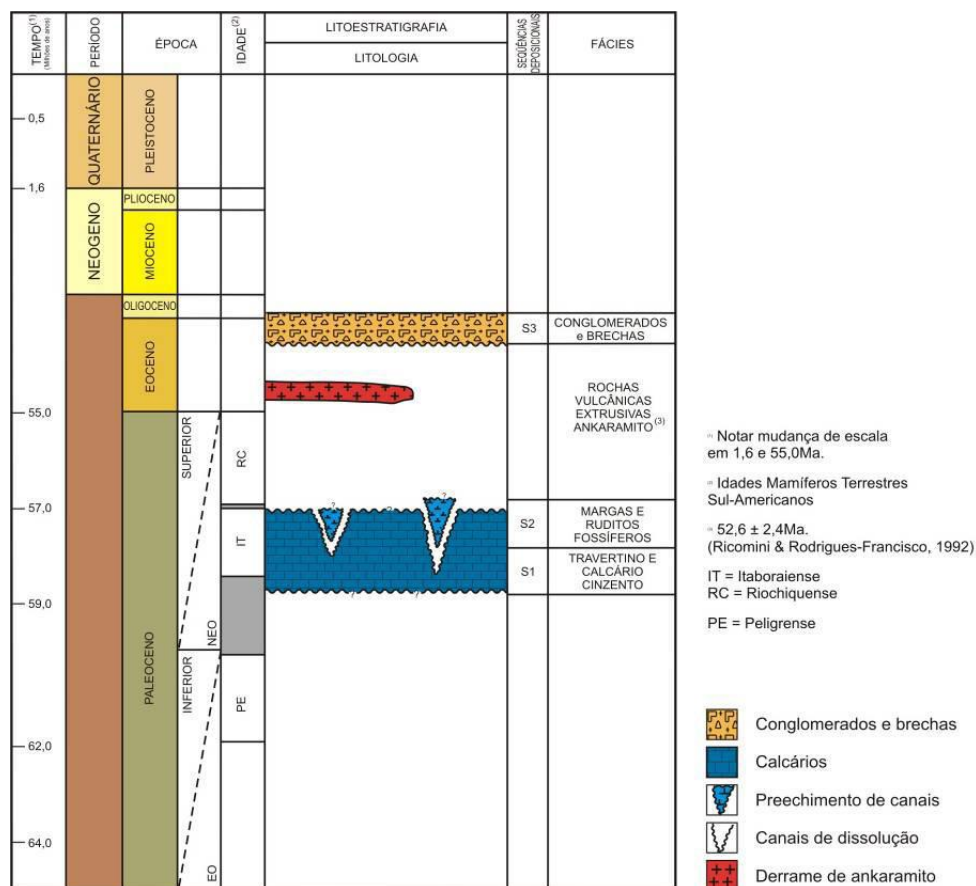
Diante disso, a seqüência inferior somente pode ser mais antiga que o Paleoceno Superior, talvez do Paleoceno inferior (RODRIGUES-FRANCISCO, 1989). Em tese de mestrado, CARVALHO (2001), comenta que a única datação absoluta em relação à Bacia de Itaboraí foi feita por RICOMINI & RODRIGUES-FRANCISCO (1992).

Os autores analisaram a amostra de um dique de ankaramito que atravessava o embasamento cristalino e os sedimentos carbonáticos. O método utilizado para determinar a idade foi a da datação radiométrica de K-Ar. Através desse método, a idade encontrada foi de 52,6 +/- 2,4 m.a. correspondendo ao Eoceno inferior ao médio.

A base dos depósitos calcários constitui-se de uma seqüência de calcários cristalinos. Acima ocorre um calcário fitado, muito puro, típico de uma precipitação rítmica, sendo cortado por canais de dissolução preenchidos por marga, na qual ocorrem fósseis de vertebrados primitivos.

Em continuação a essa seqüência, segue-se o calcário cinzento, fossilífero, contendo, também, minerais detríticos e intercalações de calcário fitado, calcário oolítico e, em alguns grupos, substituições por sílex. Capeando a seqüência, ocorre um depósito aluvial, formado por uma massa areno-argilosa, onde são encontrados tanto blocos angulosos, formados por rochas decompostas, como, também, seixos arredondados, de rochas inalteradas (BRITO *et al*, 1972).

Tabela 2 - Tabela Lito-estratigráfica representando os principais eventos deposicionais envolvendo a Bacia..



2.4-Profundidade e espessura de calcário na bacia

Segundo Ferrari (2001) pode-se averiguar que o calcário fitado da presente bacia é de origem hidrotermal, indicado pela dissolução de mármore do embasamento por soluções meteóricas aquecidas. De acordo com apud Sant'anna *et al* (2000) a falha de São José teria atuado como o duto principal de aporte dessas soluções, gerando dessa forma a maior espessura de calcário na borda sul, junto a falha de São José. A existência de veios de calcário travertino cortando o gnisso reforça a hipótese de sua origem a partir de fontes hidrotermais e indicam que o hidrotermalismo foi acompanhado por tectonismo.

Segundo Ferrari (2001) “verificou-se também que o calcário travertino assume um arranjo bastante peculiar junto a falha da borda sul, constituindo um enxame de veios de calcário maciço a bandado de pequena espessura

.Esses veios são visíveis cortando o gnaisse do embasamento, e são abundantes junto a falha de São José. Constituinte um enxame sub-paralelo a ela , com um mergulho de alto grau e com espessura máxima ,hoje preservada,de até cerca de 3 metros”.

Baseando nos perfis de sondagem da companhia de mineração exploradora foi averiguado um maior volume de calcário junto a falha de São José ,a sudeste, corroborando o seu papel como conduto principal para as soluções aquecidas.

Ainda citando Ferrari op cit.“O aumento progressivo na Profundidade do embasamento da bacia para SW indicava que ai se situava seu depocentro. Adicionalmente, pode-se observar que a espessura máxima da bacia deve ter atingido um pouco mais do que 125m referidos por Rodrigues Francisco et al, (1986)” .

3-MÉTODO

3.1-Levantamento Bibliográfico

Antes das etapas de campo houve o levantamento do conteúdo bibliográfico disponível para a confecção deste trabalho tanto do ponto de vista geológico - já apresentado no cap 2- quando da técnica do levantamento geofísico por eletrorresistividade apresentado a seguir.

3.1.1 - O Método da eletrorresistividade

Segundo, Fernandes (1984), "A passagem da corrente elétrica nos solos e nas rochas se dá através de água salgada contida nos espaços vazios, pois a maioria dos minerais é má condutora de corrente elétrica. A exceção dos materiais nativos, como Fe, Ag, Cu e Ni e dos compostos minerais semi-metálicos, como FeS₂(pirita), quase todos minerais que formam as rochas são isolantes.

A presença, porém, de umidade nas mais finas diáclases de uma rocha pode torná-la condutora. A condutividade elétrica dos solos e das rochas, portanto é eletrolítica, pois se faz através de um eletrólito (a água); se essa água for salgada. por exemplo, será maior a condutividade da rocha ou solo", logo podemos dizer que esta tem uma baixa resistividade." A resistividade p , é o inverso da condutividade, de um modo geral, nas formações geológicas".

As técnicas de medição de eletrorresistividade são duas: a sondagem elétrica vertical (SEV) e o caminhamento elétrico (Braga, 2002). Neste trabalho usou-se ,no levantamento geofísico da área, a SEV.

Para a coleta de dados com a técnica da SEV supõem-se a existência de um circuito no qual a Terra é um resistor com dois eletrodos introduzidos no solo e conectados aos terminais de uma fonte de corrente. Devido à diferença de potencial ocorre um fluxo de corrente do eletrodo positivo para o negativo (Robinson & Çoruh, 1988) como pode se visto na figura 6.

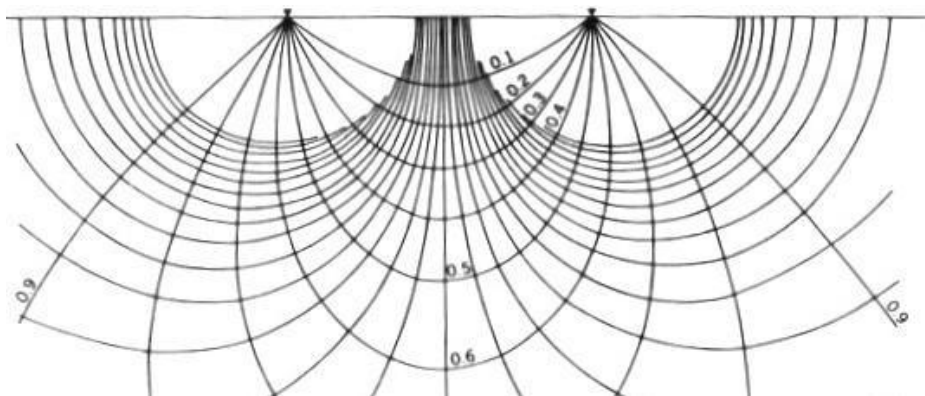


Figura 6 - Linhas de corrente e superfícies equipotenciais em subsuperfície num meio com resistividade uniforme

Fonte: Robinson & Çoruh, 1988.

O uso da técnica é baseado na capacidade do equipamento de introduzir corrente elétrica no subsolo tendo-se diferentes espaçamentos entre os eletrodos de corrente.

O método consiste em medir, na superfície terrestre, o parâmetro resistividade elétrica a partir das medidas de I (corrente) e V (diferença de potencial) com o emprego de um arranjo de eletrodos de emissão (AB) e de medição (MN) (figura 7).

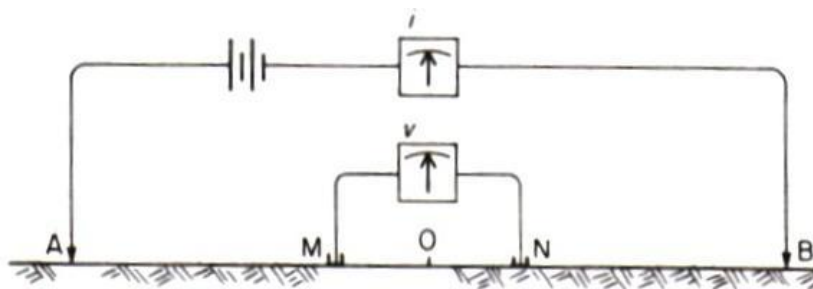


Figura 7 - Configuração do arranjo dos eletrodos Fonte: Robinson & Coruh, 1988.

Não existe nenhum aspecto restritivo quanto à distribuição relativa dos eletrodos de corrente e de potencial. Diversas distribuições foram bastante pesquisadas e nomeadas. Os arranjos de eletrodos mais utilizados são os de Schlumberger e Wenner. Uma discussão exaustiva sobre a preferência entre um e outro arranjo, incluindo suas vantagens e desvantagens, está na literatura (Braga, 2002).

A configuração de disposição de eletrodos típica do arranjo Schlumberger (usado nesta pesquisa), é apresentada na figura 7. Os eletrodos MN são mantidos fixos enquanto os eletrodos AB são deslocados simetricamente, em relação ao centro do dispositivo quadripolo, à distância entre os eletrodos de potencial M e N é mantida fixa enquanto o instrumento mede a diferença de potencial conveniente com a diminuição do valor ΔV e conseqüentemente perda da precisão da leitura, é realizada uma operação chamada de embreagem. Este procedimento consiste em aumentar a separação dos eletrodos MN para se conseguir um maior valor de tensão (Braga, 2002).

Além disso, para uma maior confiabilidade, utiliza-se repetir a medida de resistividade nestes pontos com os dois valores de MN. Este procedimento permite corrigir efeitos que ocorrem quando há troca na posição de MN.

O principal objetivo da SEV é o estudo da distribuição da resistividade abaixo do ponto de interesse na superfície (Parasnis, 1997).

A profundidade de investigação do método é relacionada principalmente com espaçamento dos eletrodos de corrente AB. Assume-se uma profundidade teórica de $AB/3$ ou $AB/4$.

Uma corrente I é enviada entre os eletrodos AB, e entre MN é medida a diferença de potencial resultante ΔV . Deste modo, a resistência R da porção do subsolo entre MN é dada pela equação 1, e a resistividade ρ é dada pela equação 2.

$$R = \frac{V}{I} \quad (1)$$

Onde:

R = em V/A ou ohm

ΔV = em volt (V)

I = em ampére (A)

A razão ρ/R corresponde a uma constante geométrica K , que depende do arranjo dos eletrodos.

$$\rho = R \cdot K \quad (2)$$

A constante geométrica K , no arranjo schlumberger utilizado neste trabalho é dada pela equação 3 abaixo:

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} - \frac{1}{BM}} \quad (3)$$

Aumentando-se a distância entre os eletrodos de corrente AB, o volume total da subsuperfície incluída na medida também aumenta (Ver figura 8), permitindo alcançar camadas cada vez mais profundas. A resistividade elétrica medida, representa a resistividade média de todo volume de material entre a superfície e o ponto investigado em profundidade. Um melhor resultado da aplicação desta técnica sempre ocorrerá em terrenos lateralmente homogêneos composto de camadas estratificadas plano-paralelas (Braga, 2002).

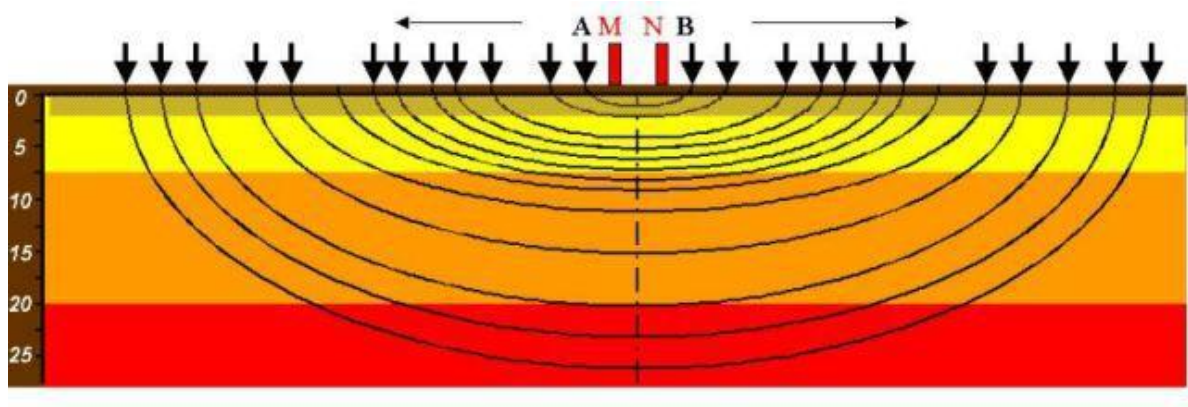


Figura 8 - Relação entre a distância de AB e profundidade investigada. Observar que abertura de AB é aproximadamente proporcional a profundidade investigada

Fonte: Braga, 2002.

Os dados de eletrorresistividade podem ser apresentados na forma de curvas bi-logarítmicas, seções e plantas de isovalores de resistividades aparentes.

3.1.2 - Processamento, inversão e interpretação

Os dados quando adquiridos no campo precisam ser tratados matematicamente e analisados do ponto de vista geológico. Este tratamento matemático é chamado de processamento e visa obter uma melhor visualização das estruturas geológicas. As principais etapas utilizadas no método de sondagem elétrica são mostradas a seguir.

Um exemplo do processamento de dados de campo para a obtenção das resistividades aparentes é exibido na tabela 3 (ALMEIDA (2005)).

Os dados da SEV pós-processamento estão apresentados em curvas bi-logarítmicas onde o eixo y corresponde aos valores de resistividade aparente e o eixo x corresponde aos de $AB/2$, a partir dos quais foi ajustada a melhor curva (Figura 11). O uso da escala logarítmica se deve à manutenção da precisão relativa dos valores obtidos com a profundidade. Podemos observar na figura 11 que as curvas ajustadas em azul foram feitas a partir dos valores de campo que são as curvas pretas. Almeida (2005).

Tabela 3 - Cálculo da resistividade aparente a partir dos dados de campo. Observar que a partir dos valores de I e ΔV adquiridos no campo é calculado o valor de ρ (Ωm)- Almeida (2005). Onde $AB/2(m)$ é a distância entre os eletrodos de corrente; $MN(m)$ é a distância entre os eletrodos de diferença de potencial; $\Delta V(V)$ é a diferença de potencial entre os eletrodos MN medida no equipamento; $I(mA)$ é a corrente injetada no solo; $R(\Omega)$ calculo de $\Delta V/I$; K é uma constante que depende da configuração dos eletrodos e ρ (Ωm) é o valor calculado da resistividade aparente do solo.

$AB/2(m)$	$MN(m)$	$V(V)$	$I(mA)$	$R(\Omega)$	K	ρ (Ωm)
1	1	896	0.48	1867	2.36	4405
2	1	107.2	0.50	214.4	11.8	2530

3.5	1	21.2	1.06	20	37.7	754
3.5	2	68.6	1.06	64.7	17.7	1145
6	1	9.52	7.68	1.24	112	139
6	2	24.5	7.70	3.18	55	175
10	2	3.56	4.82	0.739	155	115
20	2	2.29	14.04	0.163	626	102
20	4.5	5.52	14.04	0.393	275	108
35	2	2.06	34.4	0.0599	1930	116
35	4.5	4.40	34.8	0.126	851	108

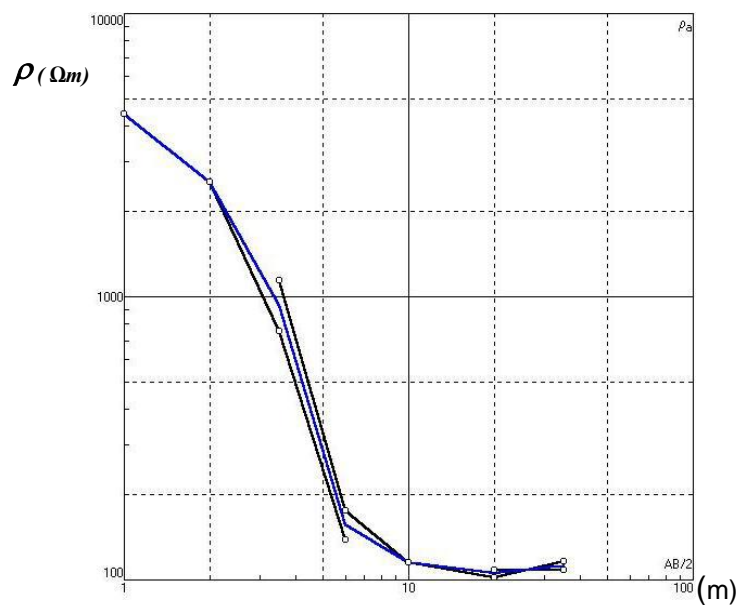


Figura 9 - Gráfico gerado com os valores de $AB/2$ e $\rho_a(\Omega m)$ -

Fonte: Almeida (2005).

Para inversão e interpretação dos dados Almeida (2005) foi utilizado um “software” chamado PI2win de distribuição gratuita <http://www.geol.msu.ru/deps/geophys/>. O número de camadas escolhido para

inversão pode ser feito automaticamente pelo “software” ou escolhido pelo operador, a partir dos conhecimentos da estratigrafia de subsuperfície da área.

A partir da curva suavizada Almeida (2005) fez a inversão 1D, com base num modelo de camadas plano-paralelas e infinitamente extensas lateralmente. A Figura 12 abaixo mostra o resultado para 6 camadas. Com o resultado desta inversão foi realizada a interpretação, utilizando-se as informações geológicas conhecidas para a área. A figura 12 também apresenta a tabela dos parâmetros das camadas e o modelo das camadas em azul.

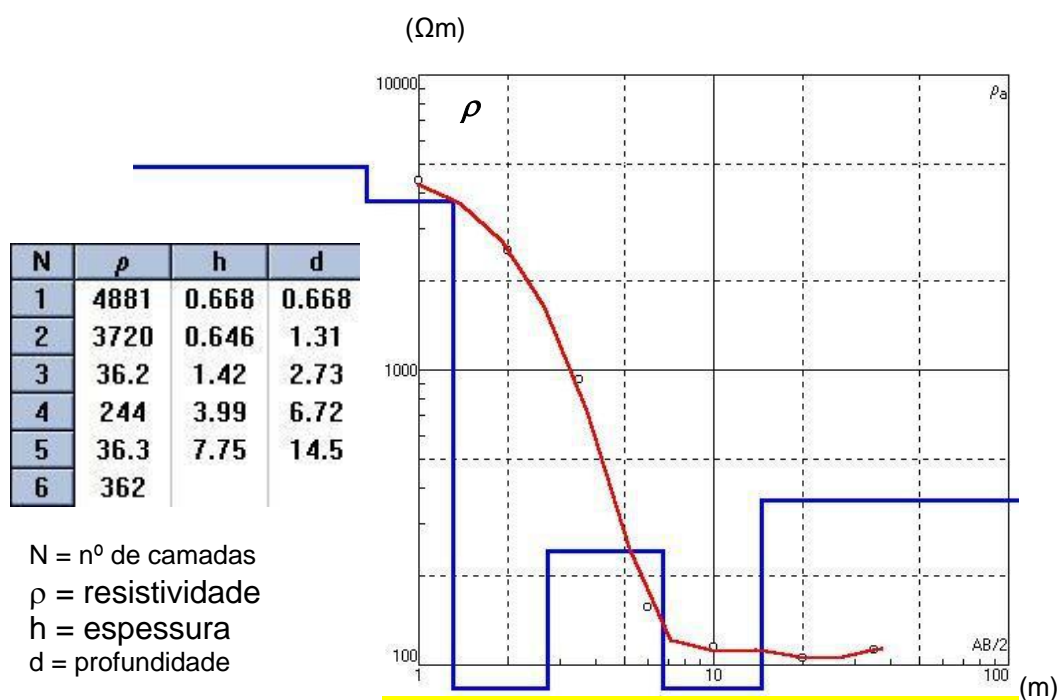


Figura 10 - Curva suavizada (em vermelho), tabela mostrando os parâmetros das camadas e modelo de camadas geradas (em azul) (Fonte: Almeida (2005)).

3.2-Levantamentos de campo: reconhecimento da área

Realizado juntamente com orientação dos professores Paula Rocha e Roberto H. Plastino do departamento de geologia da UFRJ. Nesta etapa foi possível definir:

- Condições de uso dos equipamentos;
- Acesso às localidades onde seriam realizados os levantamentos de campo;
- Avaliação da geologia local, para um melhor aproveitamento do furo de sondagem e resultados obtidos.

Um fator fundamental para o levantamento de campo foi à obtenção da permissão de trabalho do comitê gestor do parque paleontológico de São José do Itaboraí. Com base na avaliação de campo foram definidos dois locais para as sondagens elétricas verticais (SEV's).

3.3-Levantamentos de campo: investigações geofísicas

O levantamento geofísico usando o método de eletrorresistividade através da sondagem elétrica vertical (SEV) – configuração de Schlumberger - foi realizado com o objetivo de definir a espessura da bacia e fazer uma modelagem geofísica dos diversos pacotes de carbonatos (espessura e profundidade). A escolha desse método foi determinada pela logística da área e pela facilidade de obtenção de dados que foram utilizados para a locação de um furo de sondagem com amostragem de testemunho.

A localização do centro das SEV's foi determinada pelas variações geológicas laterais. A figura 11 abaixo mostra a localização das SEV's e a tabela 4 mostra as coordenadas das SEV's.



Figura 11: Figura mostrando a locação das SEVs com escala aproximada.

Fonte: "Google Earth".

Tabela 4 Coordenadas das SEV's

	Latitude	Longitude
SEV 1	22°50'28.61"S	42°52'46.58"O
SEV 2	22°50'29.78"S	42°52'58.65"O

As figuras 12 e 13 ilustram o levantamento de campo nas duas locações das SEV's. O equipamento utilizado no levantamento está descrito em Plastino et al (2003) e foi desenvolvido no laboratório de geofísica do Departamento de Geologia da UFRJ, figura 14. A figura 15 mostra o detalhe do arranjo dos eletrodos.



Figura 12: Foto ilustrando a primeira estação de coleta de dados, fonte:Renato Meneses(2009)



Figura 13: Foto ilustrando a segunda estação de coleta de dados, fonte :Renato Meneses(2009)



Figura 14- Equipamento desenvolvido no laboratório de Geofísica do IGEO. (Plastino et al. 2003). fonte: Renato Meneses(2009)



a- Detalhe de AB



b- Detalhe de MN

Figura 15 a e b - Arranjo de eletrodos para levantamento de campo, segundo o método Schumbeger MN - eletrodos de potencial e AB - eletrodos de corrente. Fonte: Almeida(2005).

3.4- Metodologia de tratamento dos dados

O tratamento dos dados foi realizado por análise visual no programa Excell a partir da qual foi feito o cálculo do valor médio da corrente e da tensão. Abaixo segue um exemplo dos dados inseridos no Excell onde estão listados os valores de tensão, corrente, os respectivos ganhos e o gráfico utilizado (figura 16).

Foram considerados dois fatores para a interpretação do número de camadas nas duas SEV's. Primeiro fator: tendência de queda ou aumento da resistividade. Segundo fator: estabilidade da resistividade

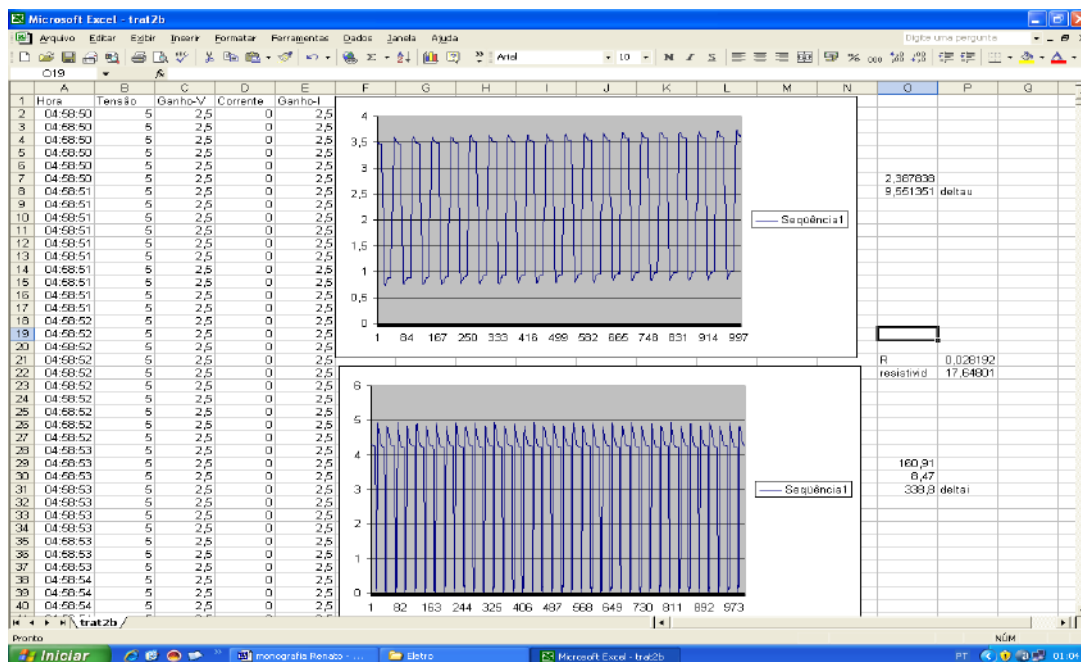


Figura 16- mostra um exemplo de como foram tratados os dados no Excell® fonte: Renato Meneses

3.4.1 - Memória de cálculo de p_a

Neste trabalho foram adquiridos os dados diretamente do campo, através de uma interfase ligada a um computador já descrito em Plastino (2005). Esses dados consistem nos valores de: tensão ,corrente, ganho da tensão e ganho da corrente. Todos os dados foram armazenados e posteriormente processados no Excell®, conforme pode ser visto na figura 16. Logo em seguida foi confeccionado um gráfico no Excell e selecionado um intervalo mais homogêneo possível onde foram calculados os valores $\Delta v = a_1 - a_2$ e o $\Delta i = i_1 + i_2$.

Após estes procedimentos os valores foram divididos pelo ganho para a recuperação dos sinais originais. Segundo a lei de Ohm, $R = \Delta V / I$, calcula-se

valor da resistência o valor da resistência .Para se achar o valor da resistividade multiplica-se por uma constante geométrica K ,devido a disposição dos quatro eletrodos, e finalmente achamos o valor da resistividade que era o objetivo desta parte do trabalho

4- RESULTADOS

4.1-Apresentação e discussão dos dados da SEV1

Os dados de corrente, diferença de potencial e resistência foram, tratados e calculados sendo apresentados resumidamente na tabela 5 abaixo

Tabela 5- Apresentação dos resultados tratados dos dados da SEV1

AB/2(m)	MN(m)	V(mV)	I(mA)	R(Ω)	Camadas	Pa(Ω m)
6	1	2,662	8,41	0,158	1	17,72
6	2	2,657	8,51	0,312	1	17,33
10	2	3,84	6,82	0,112	1	17,571
20	2	2,387	8,47	0,028	1	17,648
20	4,5	3,478	8,49	0,102		28,167
35	2	2,183	4,96	0,011	2	21,135
35	4,5	2,518	4,96	0,025	2	21,605
60	4,5	1,883	6,26	0,006	3	15,101
60	10	2,017	6,34	0,0127	3	14,258
100	4,5	1,948	8,42	0,00231	3	16,155
100	10	2,868	8,34	0,00688	4	21,53

Fonte:Meneses,2009

Após o tratamento dos dados da SEV1 observou-se variações da resistividade, com um aumento até uma profundidade de aproximadamente 65 m ($AB/3 = 200/3$), conforme pode ser visto na tabela 6. O primeiro aumento compreendido entre os valores 4m ($12/3$) e 14m ($\approx 40/3$) pode ser interpretado como água doce ou solo (material inconsolidado). Para uma profundidade de

cerca de 23m (70/3) foi interpretado como o intervalo do calcário travertino, o calcário mais consolidado. Para o intervalo de 40m a 65m (120/3 a 200/3 respectivamente) os valores de resistividade diminuem podendo indicar o nível freático com água um pouco mais salobra e logo após ocorre um aumento repentino dos valores da resistividade, sugerindo o topo do embasamento da bacia.

4.2-Apresentação e discussão dos dados da SEV2

A tabela 6 apresenta os dados com os cálculos de ρ_a (Ω/m). Diferentes dos primeiros dados, estes da SEV 2, apresentam um comportamento com maior contraste de valores, embora menores do que os da SEV1. Indica a presença de cinco camadas com intervalos de resistividades bem distintas o que pode ser constatado na tabela 6.

Tabela 6- Apresentação dos dados da SEV2 - omitindo os valores de $V(mV)$ e $I(mA)$.

AB/2(m)	MN (m)	camadas	$\rho_a(\Omega m)$
1	1	1	15,26
2	1	1	11,21
3,5	1	1	12,9
3,5	2	2	16,99
6	1	2	15,78
6	2	3	20,33
10	2	3	21,41
20	2	3	21,39
20	4,5	4	18,63
35	2	4	16,28
35	4,5	4	13,83
60	4,5	4	11,65
60	10	4	10,9
100	4,5	5	17,35
100	10	5	15,08

Fonte: Meneses, 2009

4.3- Processamento dos dados da SEV1 utilizando o programa Ip2win.

Após os ajustes chegou-se ao desvio de 5%. A espessura total encontrada neste pacote de dados foi de 51 metros. A espessura estimada para o calcário travertino foi de 17 metros, figura 17.

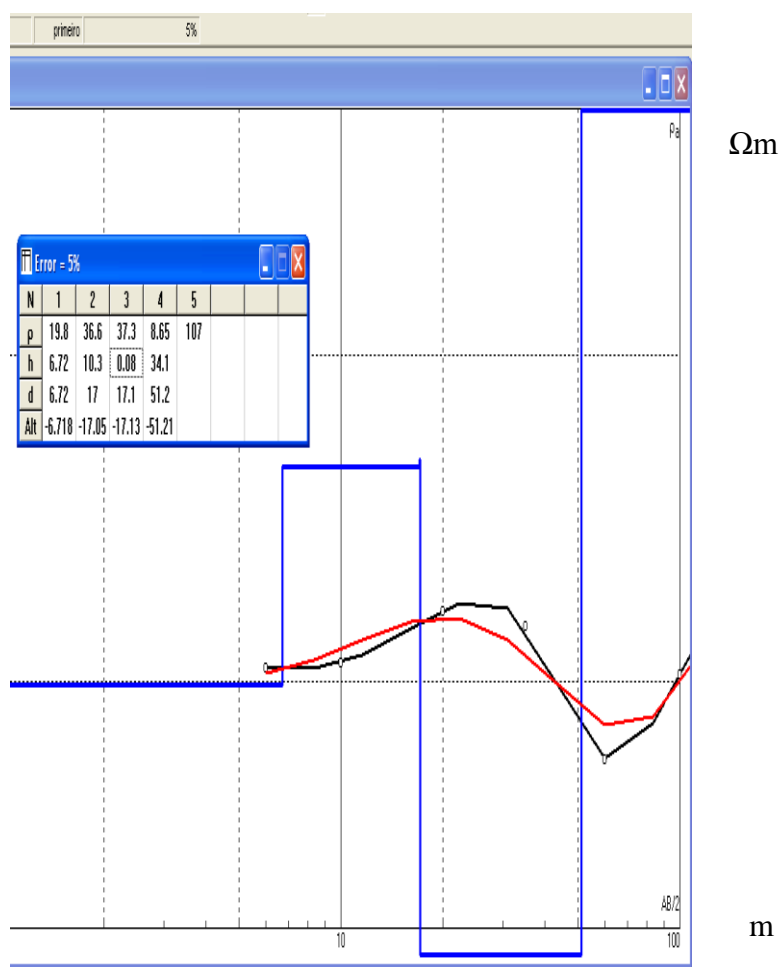


Figura 17 - Apresentação da interpretação dos dados da SEV1. A curva em preto mostra os dados de campo e a em vermelho o resultado da modelagem. Em azul as camadas com as diferentes resistividades.

Fonte: Renato Meneses, 2009

4.4-Processamento dos dados da SEV 2 com o programa IP2win

A figura 18 trata de uma curva suavizada em vermelho e em azul são mostrados os modelos das camadas

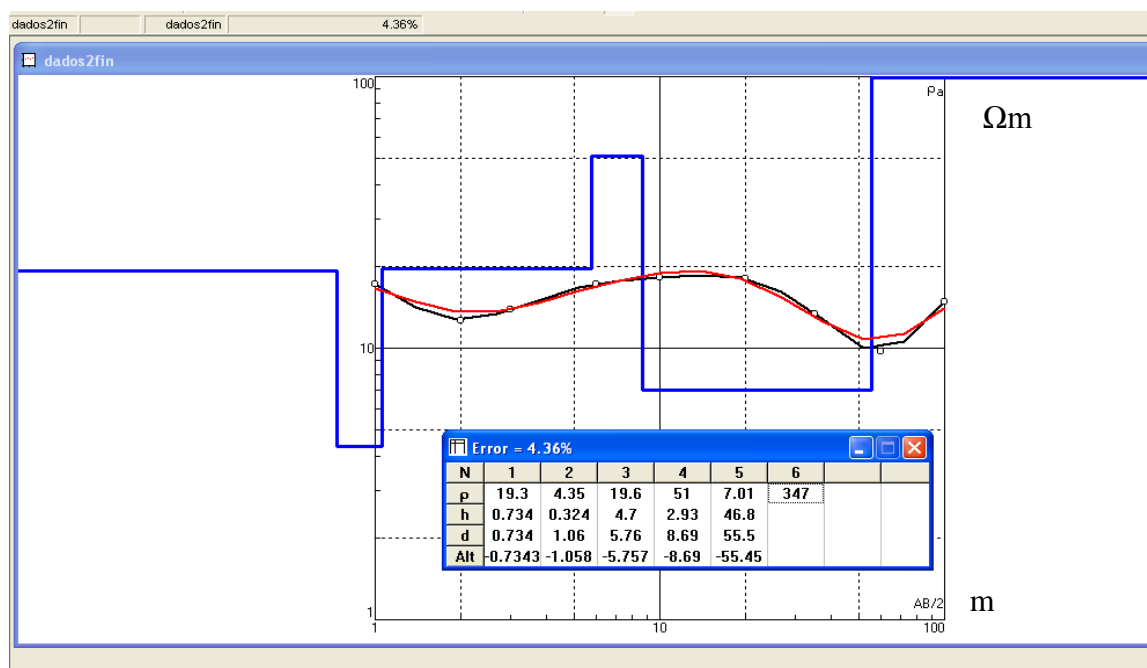


Figura 18 - Apresentação da interpretação dos dados da SEV2. A curva em preto mostra os dados de campo e a em vermelho o resultado da modelagem. Em azul as camadas com as diferentes resistividades.

Fonte: Renato Meneses, 2009

Após o ajuste chegou-se a um desvio de 4,36% e a uma profundidade de 55,5 metros. Estes resultados parecem compatíveis com a espessura de calcário travertino 14 metros aproximadamente, o de maior resistividade.

4.5-Apresentação da secção de profundidade por eletroresistividade

A figura 19 ilustra uma interpolação em perfil entre as SEV 1 e SEV2 onde aparecem valores de resistividade com cores. No eixo “X” a distância entra a s SEV’s 1 e 2 e no eixo “Y” a profundidade.

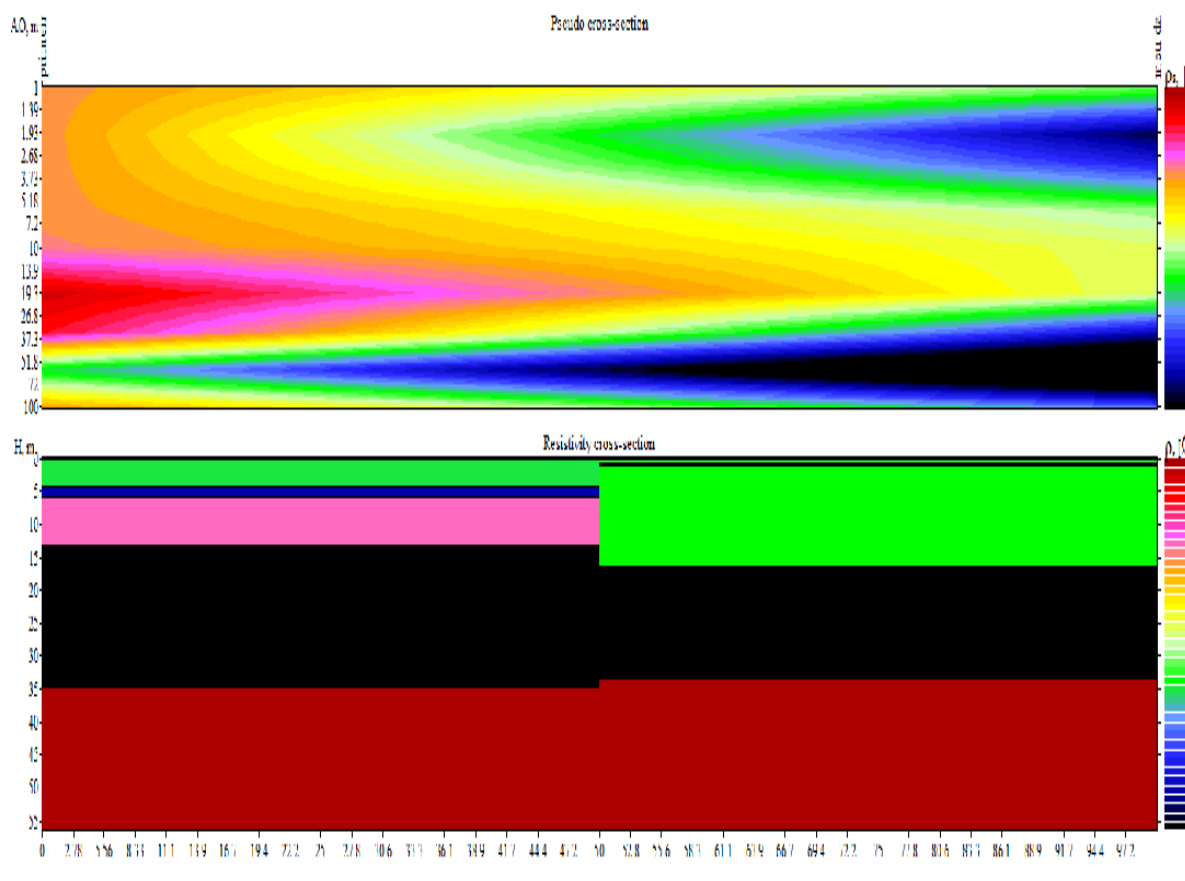


Figura 19 -Apresentação do resultado das SEV 1 e SEV2 através de uma secção que correlaciona Profundidade,distância e resistividade aparente (com exagero vertical).

Fonte:Renato Meneses,2009

5-CONCLUSÕES

Os dados das sondagens elétricas indicaram uma boa coerência e corrobora as informações obtidas nas referências bibliográficas consultadas.

Com base nos dados levantados nas SEV1 e na SEV2 pode-se inferir o aumento da profundidade da bacia na direção da falha de São José - já citada

no capítulo 2 - assim como o aumento das camadas de calcário também nesta direção.

Desta forma, a indicação, do melhor local para locação do poço seria próximo à SEV2. Esses dados serão confirmados com a perfuração do poço e realização de mais uma SEV na borda da falha de São José.

Referências Bibliográficas

ALMEIDA, F.O. (2005) Modelagem de Cordões Arenosos Através de Investigações Geofísicas, Zona Costeira da Baía de Sepetiba, Itaguaí – RJ. Dissertação de Mestrado, IGEO-UFRJ, 99PP.

BRAGA, A.C.O. 2002. *Métodos geoelétricos aplicados – módulo hidrogeologia*. UNESP. 91 p. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/>.

BERGQVIST, L.P.; RODRIGUES, M.A.; MANSUR, K.; RODRIGUES-FRANCISCO, B.H.; PEREZ, R. & BELTRÃO, M.C. Bacia de São José de Itaboraí, RJ: O berço dos mamíferos no Brasil. Artigo SIGEP – 2007

BRITO *et al* (1972) BRITO, I.M., FRANKE, H.E. & CAMPOS, D.A. *Geologia e Petrografia da Bacia de São José de Itaboraí*, Estado do Rio de Janeiro. (1972). Anais da Academia Brasileira de Ciências. Rio de Janeiro, 44(2): 225-233.

BRITO, I.M. Geologia e paleontologia da Bacia Calcária de São José de Itaboraí, Estado do Rio de Janeiro. Brasil. (1989). Anuário do Instituto de Geociências. UFRJ. p. 56-64.

CARVALHO, Alberto Barbosa 2001. – *Estudos taxonômicos dos “Lagartos” Fósseis (Lepidosauria: Squamata) da Bacia de São José de Itaboraí (Paleoceno)*, Estado do Rio de Janeiro. UFRJ, Museu Nacional, 2001.

FERNANDES, Carlos Eduardo de Moraes 1980 – *Fundamentos de prospecção geofísica-Rio de Janeiro: Interciência* 1984 79 pág

FERRARI, A.L.(2001) Evolução Tectônica do Graben da Guanabara. Tese de Doutorado. Departamento de geologia-USP, pág 264

MEDEIROS, R.Á. & BERGQVIST, L.P. (1999) Paleocene of the São José de Itaboraí Basin, Rio de Janeiro, Brazil: Lithostratigraphy and Biostratigraphy. Estudos Tecnológicos: acta geológica leopondensia (1999) XXII (48): 3-22.

PARASNIS, D.S. 1997. *Principles of Applied Geophysics*. (5.ed.) Londres, Chapman & Hall. 214 p.

Plastino, R.H., Ayres, H.; Penteado, D. Rocha, P.L. F. da (2003) Projeto de Desenvolvimento de Sistema e Equipamento para Levantamento Geofísico por Método Elétrico in: 8th International congress of the Brazilian Geophysical Society, Rio de Janeiro.

ROBINSON, E.S.; CORUH, C. 1988. *Basic Exploration Geophysics*, John Wiley, 562p.

RODRIGUES-FRANCISCO (1975) RODRIGUES-FRANCISCO, B. H. Geologia e Estratigrafia da Bacia Calcária de São José, Município de Itaboraí (RJ). Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências – UFRJ. 1975. Rio de Janeiro.

RODRIGUES-FRANCISCO, (1978) RODRIGUES-FRANCISCO, B. H. & SOUZA CUNHA, F. L. Geologia e Estratigrafia da Bacia de São José, Município de Itaboraí, RJ. (1978). Anais da Academia Brasil. de Ciências, 50 (3)

RODRIGUES-FRANCISCO B. H.1990 Estratigrafia de Bacia de São José de Itaboraí. Mineração Metalurgia. Rio de Janeiro, 1990. Ano 54, nº 516, p. 35-37.

Sant'anna, L.G 2000 Cimentação hidrotermal em depósitos sedimentares paleogênicos do rift continental do sudeste do Brasil: mineralogia e relações tectônicas

ZALÁN, P.V. & OLIVEIRA, 2005 J.A.B. de. Origem e Evolução Estrutural do Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do Brasil. (2005). Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, vol. 13, nº 2, p. 269-300.

Sites da Internet

<http://www.geol.msu.ru/deps/geophys/>. (acessado em janeiro de 2009)

<http://www.phoenix.org.br/informat.htm> (acessado em julho de 2009)